

## 专家组稿专栏

**编者按:**超临界流体萃取法和生物酶提取法是近年来天然产物功效成分提取领域的研究热点,在资源组分分离提取上具有很高的应用价值。“响应面优化超临界 CO<sub>2</sub> 萃取花生油工艺的研究”,在单因素实验基础上,通过响应面优化方法确定了超临界 CO<sub>2</sub> 萃取花生油的较佳工艺参数,该工艺条件下花生油萃取率达到 96.16%。该法具有萃取与分离合二为一、萃取效率高、过程易控制、萃取温度低、萃取溶剂循环利用和无残留等优点,但产业化投资较高。

“纤维素酶提取漳州血柚皮总黄酮的工艺研究”采用生物酶辅助提取血柚皮中的黄酮,在优化的酶法提取工艺条件下,血柚皮总黄酮的提取率 1.52%。该法中酶制剂具有专一性、特异性,在常温常压条件下就能显著提高有效活性成分的提取率,并减少污染物排放,但需要注意根据提取目标物的极性配套后期的提取工艺。

(栏目主持人:李高阳研究员)

文章编号:1671-1513(2012)05-0026-06

## 响应面优化超临界 CO<sub>2</sub> 萃取花生油工艺研究

李林静<sup>1</sup>, 章 宝<sup>1</sup>, 李高阳<sup>1,2,3</sup>

(1. 中南大学 隆平分院, 湖南 长沙 410125; 2. 湖南省食品测试分析中心, 湖南 长沙 410125;  
3. 湖南省农产品加工研究所, 湖南 长沙 410125)

**摘 要:**为了获得 CO<sub>2</sub> 流体萃取花生油的较佳工艺条件,通过单因素实验及响应面优化试验研究了萃取压力、萃取温度、CO<sub>2</sub> 流量、萃取时间和花生仁粒度等因素对花生油萃取率的影响,确定了超临界 CO<sub>2</sub> 萃取花生油的较佳工艺参数为,萃取压力 24 MPa,萃取温度 43 °C,花生仁粒度 20 目,CO<sub>2</sub> 流量 20 L/h,萃取时间 110 min,在该工艺条件下花生油萃取率达到 96.16%。对 SFE-CO<sub>2</sub> 流体萃取的花生油脂肪酸成分进行分析,结果显示,SFE-CO<sub>2</sub> 流体萃取的花生油不饱和脂肪酸(主要是亚油酸和油酸)含量高达 78% 以上,符合一级花生油的标准(GB 1534—2003)。

**关键词:**超临界 CO<sub>2</sub>; 花生油; 响应面; 脂肪酸

**中图分类号:** TS224.4; TS225.1

**文献标志码:** A

花生是豆科落花生属作物,一年生草本植物,主要分布在热带和亚热带以及地中海沿岸地区,印度和中国种植广泛<sup>[1]</sup>。花生是我国主要油料作物,年产量 1 400 多万 t,占世界花生总产量的 40% 以上,居世界第一<sup>[2]</sup>。花生中的脂肪含量大约为 50%,在几种主要的油料作物中仅次于芝麻而高于大豆、棉籽和油菜籽<sup>[3]</sup>,其中不饱和脂肪酸约占脂肪酸总量的 80%,主要是亚油酸和油酸。花生油是一种营养价值较高的食用植物油,研究发现不饱和脂肪酸如

亚油酸和亚麻酸具有促进人体生长、调节生理机能、降低血脂、预防机体疾病等作用<sup>[4-5]</sup>。

传统花生油制备一般采用压榨法和有机溶剂浸出法。压榨法残油率高(7%~10%),动力消耗大,品质不高;有机溶剂浸出法安全性低,易造成环境污染,且精炼后油中仍然会残留微量对身体健康不利的有机溶剂<sup>[6-7]</sup>。超临界 CO<sub>2</sub> 萃取技术是近十几年发展形成的一项新型萃取技术,其作为一种绿色生产工艺,克服了传统压榨法提油率低和溶剂浸出

收稿日期:2012-09-01

作者简介:李林静,男,硕士研究生,研究方向为农产品加工及贮藏;

李高阳,男,研究员,博士,博士生导师,湖南省农产品加工研究所所长,主要从事农产品加工及贮藏方面的研究。通讯作者。

法有机溶剂残留等问题,显示了巨大的市场潜力.国内外对超临界 CO<sub>2</sub> 萃取核桃仁油<sup>[8-9]</sup>、杏仁油<sup>[10]</sup>、葵花籽油<sup>[11]</sup>、茶籽油<sup>[12-13]</sup>等也有一定的研究,然而对花生油超临界 CO<sub>2</sub> 萃取的研究鲜有报道.本研究选取对花生油萃取率有影响的萃取温度、时间、压力、CO<sub>2</sub> 流量和花生仁粒度 5 个因素进行单因素实验,并根据单因素实验结果,选取对花生油萃取率影响较大的 3 个因素,采用 Box-Behnken 3 因素 3 水平的响应面(RSM)进行优化试验,为超临界 CO<sub>2</sub> 萃取花生油工业化生产提供实验基础和参考数据.

## 1 材料与方 法

### 1.1 原料与试剂

花生仁,华隆(乳山)食品工业有限公司;无水乙醇(分析纯),长沙安泰精细化工有限公司;甲醇(色谱纯),上海凌峰化学试剂有限公司;无水硫酸钠(分析纯),上海山浦化工有限公司.

### 1.2 仪器与设备

HA221-50-06 型超临界萃取装置,江苏华安科研仪器有限公司;DS-1 型高速组织捣碎机,江苏金城国胜试验仪器厂;FA1104 型上皿电子天平,上海精科天平制造;旋转蒸发器,上海亚荣生化仪器厂;电热恒温鼓风干燥箱,上海精宏试验设备有限公司;索氏抽提器,丹麦 FOSS 公司;气相色谱-质谱联用仪,美国 Finnigan 公司.

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 工艺流程

花生仁→粉碎→过筛→超临界萃取→花生油.

#### 1.3.2 检测方法

花生含油量的测定:采用索氏提取法,精密称取并研细的花生粒样品 2~5 g,无损移入滤纸筒内,将滤纸筒放入索氏抽提器内,连接干燥至恒重的脂肪接收瓶,由冷凝管加入乙醚(加入量为接收瓶的 2/3 体积)回流提取 10 h 后水浴蒸干接收瓶,干燥 2 h 后称重,重复操作至恒重.

#### 1.3.3 单因素实验

对影响花生油萃取率的萃取温度、时间、压力、CO<sub>2</sub> 流量和花生仁粒度 5 个因素进行单因素实验,进而确定各因素响应面试验取值范围.花生油萃取率按式(1)计算.

$$\text{花生油萃取率} = \frac{\text{萃取的花生油质量(g)}}{\text{花生质量(g)} \times \text{花生含油量(\%)}} \times 100\%. \quad (1)$$

### 1.3.4 响应面试验设计

根据单因素实验结果,选取对花生油萃取率影响较大的 3 个因素,采用 Box-Behnken 3 因素 3 水平的响应面(RSM)设计,考察萃取压力、萃取时间和萃取温度对花生油萃取率的影响,再进行二次多项回归方程拟合及优化分析.花生油萃取试验设计因素及水平见表 1.

表 1 响应面试验设计因素及水平  
Tab. 1 Factors and levels of response surface experimental design factors

因素	水平		
	-1	0	1
X <sub>1</sub> 时间/h	1	1.5	2
X <sub>2</sub> p/MPa	20	25	30
X <sub>3</sub> 温度/℃	30	40	50

### 1.3.5 样品甲酯化

称取花生油 60 mg 至具塞试管中,精确至 0.1 mg,用移液管移取 4 mL 色谱纯异辛烷加入试管中,60 ℃ 水浴中加热至油珠完全溶解(约 30 min).用微量移液管加入 200 μL 约 2 mol/L 的氢氧化钾甲醇溶液,盖上玻璃塞猛烈振摇 30 s 后静置至澄清,向溶液中加入约 1 g 硫酸氢钠,猛烈振摇,中和氢氧化钾,静置,取上层溶液进行色谱分析.

### 1.3.6 GC-MS 分析条件

GC 条件:HP-88 型色谱柱为 100 m × 250 μm × 0.25 μm;载气为高纯氦气,压力 31.324 psi(0.216 MPa),流速 1 mL/min,平均速率 20.437 cm/s,滞留时间 0.734 71 min;程序升温从 100 ℃ 开始(保持 5 min),以 5 ℃ /min 升温到 250 ℃,保持 30 min;检测电压 350 V;出样口温度 200 ℃,进样口温度 250 ℃.

MS 条件:EI 离子源,电子能量 70 eV,发射电流 200 μA,溶剂延迟 4.00 min,EMV 模式的增益系数,1.00,采集模式为全扫描.

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素实验结果

#### 2.1.1 萃取时间对花生油萃取率的影响

在花生仁颗粒粒度 10 目,CO<sub>2</sub> 流量 15 L/h,萃取温度 40 ℃,萃取压力 25 MPa 的条件下,考察不同萃取时间(0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 h)对花生油萃取率的

影响,结果见图1.

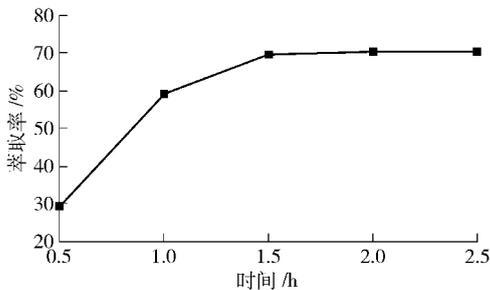


图1 萃取时间对花生油萃取率的影响

Fig. 1 Influence of extraction time on peanut oil extraction rate

由图1可知,在萃取时间小于1.5 h,花生油萃取率随着萃取时间的增加而增加,当时间大于1.5 h,花生油萃取率随着时间的延长无明显变化.因此,从节省时间和能耗的角度考虑,选择1.5 h为较佳萃取时间.

### 2.1.2 花生仁颗粒粒度对花生油萃取率的影响

在CO<sub>2</sub>流量15 L/h,萃取温度40℃,萃取压力25 MPa,萃取时间1 h的条件下,考察不同花生仁颗粒粒度(5,10,20,40目)对花生油萃取率的影响,结果见图2.

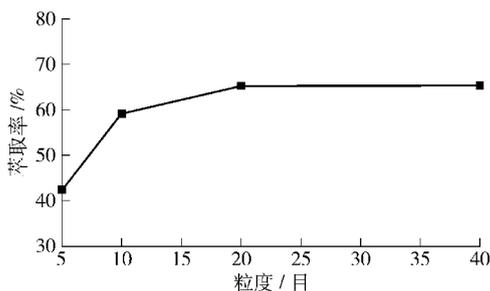


图2 颗粒大小对花生油萃取率的影响

Fig. 2 Influence of particle size of peanut oil on extraction rate

由图2可知,当粒度小于20目时,花生油萃取率随粒度的增加而增加,当粒度超过20目后,花生油萃取率增加缓慢,考虑到花生含油量较高,给粉碎造成困难,粉碎粒度越细粉碎越困难,因此选择粒度20目为较佳粒度大小.

### 2.1.3 CO<sub>2</sub>流量对花生油萃取率的影响

在萃取温度40℃,萃取压力25 MPa,萃取时间1 h,花生仁颗粒粒度10目的条件下,考察不同CO<sub>2</sub>流量(10,15,20,25 L/h)对花生油萃取率的影响,结果见图3.

由图3可知,当CO<sub>2</sub>流量小于20 L/h时,花生油

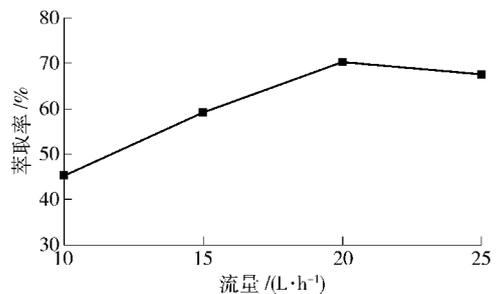


图3 CO<sub>2</sub>流量对花生油萃取率的影响

Fig. 3 Influence of CO<sub>2</sub> flow on peanut oil extraction rate

萃取率随流量的增加而增加,当流量大于20 L/h后,花生油萃取率随流量的增加反而降低.主要原因是,一方面单位时间内增加CO<sub>2</sub>流体体积,CO<sub>2</sub>在萃取釜中停留时间减少,CO<sub>2</sub>与花生有效接触时间缩短,对萃取不利,另一方面,随着CO<sub>2</sub>流量的增加,超临界CO<sub>2</sub>流体通过料层的速度加快,增加了传质推动力,进而增加了传质系数,对萃取有利.综合考虑,选择较佳CO<sub>2</sub>流量是20 L/h.

### 2.1.4 萃取压力对花生油萃取率的影响

在花生仁颗粒粒度20目,CO<sub>2</sub>流量15 L/h,萃取温度40℃,萃取时间1 h的条件下,考察不同萃取压力(20,25,30,35 MPa)对花生油萃取率的影响,结果见图4.

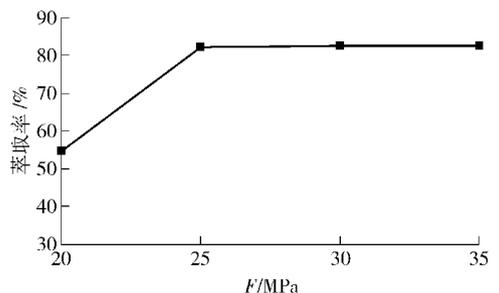


图4 萃取压力对花生油萃取率的影响

Fig. 4 Influence of extraction pressure on peanut oil extraction rate

萃取压力是影响超临界萃取效率的一个非常重要的因素,增加萃取压力可增大超临界流体的密度,从而增强其溶解能力,提高萃取能力,由图4可以看出,当萃取压力小于25 MPa时,花生油萃取率随压力的增加而增加,但压力大于25 MPa后,花生油萃取率增加缓慢,从经济和安全的角度考虑,选择25 MPa作为较佳萃取压力.

### 2.1.5 萃取温度对花生油萃取率的影响

在花生仁颗粒粒度10目,CO<sub>2</sub>流量15 L/h,萃

取时间 1 h, 萃取压力 25 MPa 的条件下, 考察不同萃取温度 (30, 40, 50, 60 °C) 对花生油萃取率的影响, 结果见图 5.

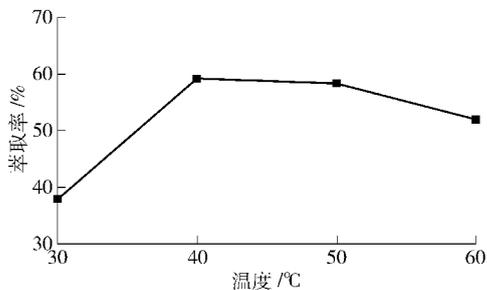


图5 萃取温度对花生油萃取率的影响

Fig. 5 Influence of extraction temperature on the rate of peanut oil extraction

由图 5 可知, 当温度小于 40 °C 时, 随着温度的升高, 花生油萃取率随之增加, 但当温度高于 40 °C 后, 花生油萃取率反而下降. 因为一方面随着温度升高, 溶质的蒸汽压上升, 使溶解度增加, 另一方面温度升高, 使 CO<sub>2</sub> 密度降低, 携带物质的能力减弱, 溶解度下降, 故选择 40 °C 作为较佳萃取温度.

2.2 实验结果与分析

从 5 个单因素中选取萃取压力、萃取时间和萃取温度这 3 个对实验影响较大的单因素, 进行分析, 使用 Design-Expert 8.0.1 软件设计 3 因素 3 水平共 17 个试验 (5 个中心点) 响应面分析试验. 这 17 个试验分为两类, 其中 12 个析因点为自变量取值在各因素所构成三位顶点, 零点为区域中心点, 重复 5 次, 用于估计试验误差.

2.2.1 试验结果

响应面试验结果见表 2.

2.2.2 模型建立及显著性检验

对表 2 试验数据进行多元回归拟合, 得到花生油萃取率 (Y) 对萃取时间 (X<sub>1</sub>)、萃取压力 (X<sub>2</sub>) 和萃取温度 (X<sub>3</sub>) 二次多项回归模型:

$$Y = +94.72 + 2.81X_1 - 2.36X_2 + 3.65X_3 - 1.91X_1X_2 - 0.39X_1X_3 - 1.91X_2X_3 - 2.57X_1^2 - 7.15X_2^2 - 7.62X_3^2$$

对该模型进行显著性检验, 结果见表 3.

由表 3 可知, 模型  $P < 0.0001$ , 说明该模型高度显著, 失拟项 ( $P = 0.0159 < 0.05$ ) 显著, 说明还存在其他的干扰因素, 方差分析表明: 相关系数  $R^2 = 0.9852$ ,  $R_{adj}^2 = 0.9661$ , 说明该方程对试验拟合好, 试验误差小; 信噪比 Adeq Precision = 19.011 > 4, 说

明该模型可得到足够强的响应信号. 整体来说, 回归方程的拟合程度很好, 因此可以用此回归方程替代试验真实值进行分析和预测试验结果. 回归模型系数显著性检验结果见表 4. 从表 4 中可以看出, 模

表 2 试验设计方案及试验结果

Tab. 2 Experimental design and test results

序号	因素			萃取率 / %		残差
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	真实值	预测值	
1	-1	-1	0	81.57	82.65	-1.08
2	1	-1	0	91.38	92.07	-0.69
3	-1	1	0	82.42	81.74	0.69
4	1	1	0	84.62	83.53	1.08
5	-1	0	-1	77.17	77.69	-0.52
6	1	0	-1	83.18	84.09	-0.91
7	-1	0	1	86.67	85.76	0.91
8	1	0	1	91.12	90.60	0.52
9	0	-1	-1	78.36	76.76	1.60
10	0	1	-1	75.69	75.86	-0.17
11	0	-1	1	88.04	87.87	0.17
12	0	1	1	77.74	79.34	-1.60
13	0	0	0	94.05	94.72	-0.67
14	0	0	0	95.28	94.72	0.56
15	0	0	0	94.35	94.72	-0.37
16	0	0	0	94.78	94.72	0.06
17	0	0	0	95.16	94.72	0.44

表 3 回归模型方差分析结果

Tab. 3 Analysis of variance for fitted regression model

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	777.37	9	86.37	51.60	<0.0001	极显著
残差	11.72	7	1.67	—	—	—
失拟项	10.67	3	3.54	12.91	0.0159	显著
纯误差	1.10	4	0.27	—	—	—
总和	789.09	16	—	—	—	—

表 4 回归模型系数显著性检验结果

Tab. 4 Regression coefficient significance test results

因素	回归系数	自由度	标准差	95%置信下限	95%置信上限	F 值	P 值
Intercept	94.72	1	0.58	93.36	96.09	—	—
X <sub>1</sub>	2.81	1	0.46	1.73	3.89	37.67	0.0005
X <sub>2</sub>	-2.36	1	0.46	-3.44	-1.28	26.59	0.0013
X <sub>3</sub>	3.65	1	0.46	2.56	4.73	63.54	<0.0001
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	-1.91	1	0.65	-3.43	-0.38	8.67	0.0216
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	-0.39	1	0.65	-1.92	1.14	0.36	0.5656
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	-1.91	1	0.65	-3.44	-0.38	8.70	0.0214
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	-2.57	1	0.63	-4.06	-1.08	16.66	0.0047
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	-7.15	1	0.63	-8.64	-5.66	128.63	<0.0001
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	-7.62	1	0.63	-9.11	-6.12	145.90	<0.0001

型一次项  $X_3$  高度显著,  $X_1$ 、 $X_2$  显著; 交互项  $X_1X_2$ 、 $X_2X_3$  影响显著,  $X_1X_3$  不显著; 二次项  $X_2^2$ 、 $X_3^2$  高度显著,  $X_1^2$  显著. 表明影响花生油萃取率的各因素不是简单的线性关系. 通过直接比较方程中一次项系数绝对值的大小来判断因素影响的主次性, 对花生油萃取率影响因素由大到小依次是:  $X_3$  (温度) >  $X_1$  (时间) >  $X_2$  (压力).

### 2.2.3 萃取工艺的响应面分析与优化

响应面的图形是响应因素的值对各实验所构成

的一个三维空间在二维平面上的等高图. 响应面曲线较陡, 表明影响因子的影响较为显著, 响应值变化较大, 曲线较为平滑, 表明影响因子的影响较小, 响应值变化较小. 图 6 为萃取工艺的响应面分析图. 由图 6 可看出,  $X_1$ 、 $X_2$  和  $X_1$ 、 $X_3$  交互作用显著,  $X_2$ 、 $X_3$  交互作用不显著. 根据响应面分析得到的较佳工艺参数: 萃取时间 1.82 h, 萃取压力 23.58 MPa, 温度 42.58 °C. 在此条件下, 花生油萃取率的理论预测值为 96.42%.

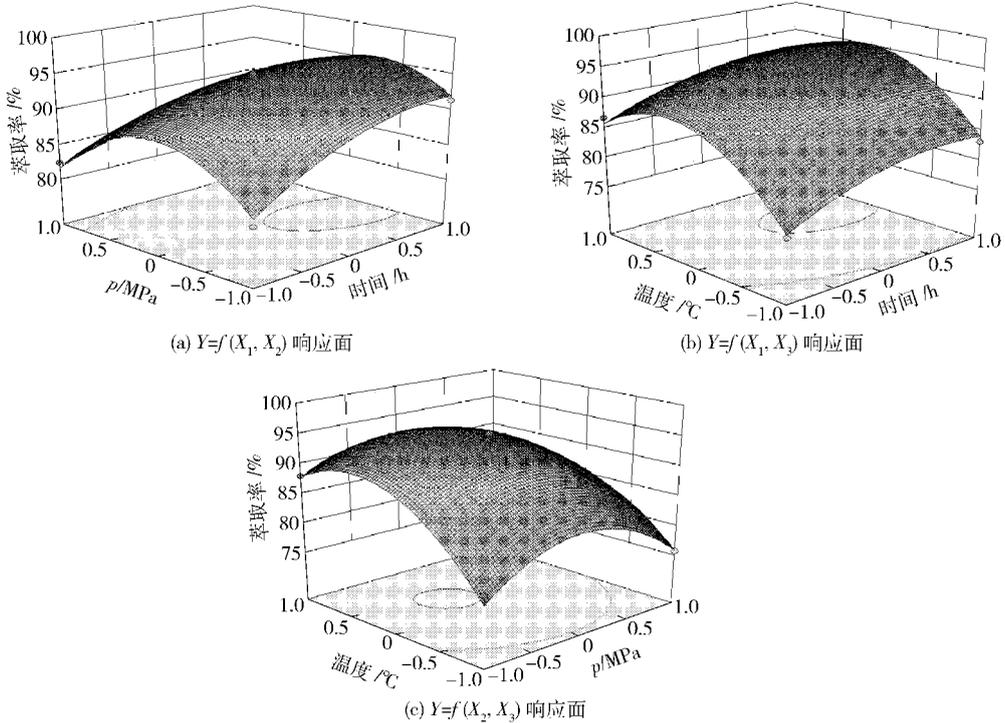


图 6 两因素交互作用对萃取率的影响

Fig. 6 Each two factors interact on the extraction rate of response surface map

考虑到实际操作的局限性, 故将实际提取工艺条件修正为萃取时间 110 min, 萃取压力 24 MPa, 温度 43 °C, 在修正条件下进行 3 次重复验证试验, 花生油萃取率平均值达到 96.16%, 与理论值相对误差为 0.27%. 由此可见, 响应面分析的优化结果与实际值较吻合, 得到的提取工艺条件具有一定的应用价值.

### 2.3 SFE-CO<sub>2</sub> 萃取花生油脂肪酸组成成分鉴定

利用 SFE-CO<sub>2</sub> 萃取技术制备的花生油呈淡黄色, 气味芬芳, 油质清亮, 无杂质. 通过气质分析得总离子流色谱图见图 7, 扣除溶剂峰的影响, 对各组分用峰面积归一法进行定量分析, 结果见表 5. 由表 5 可知, SFE-CO<sub>2</sub> 萃取花生油中含有 12 种脂肪酸. 其中饱和脂肪酸 8 种, 占挥发物总量的 20.11%, 主

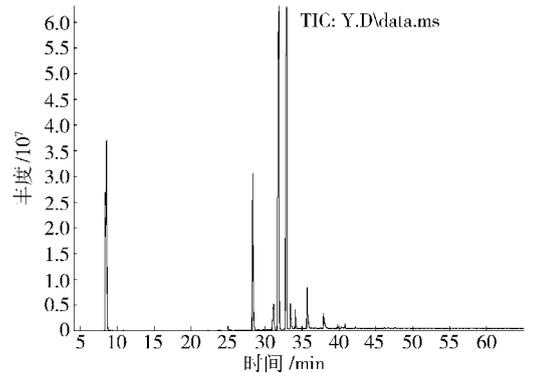


图 7 SFE-CO<sub>2</sub> 萃取花生油中脂肪酸甲酯的总离子流  
Fig. 7 TIC of fatty acid methyl ester from SFE-CO<sub>2</sub> extraction oil of peanuts

要是棕榈酸 11.27%、硬脂酸 3.10%、二十二烷酸

表5 SFE-CO<sub>2</sub> 萃取花生油脂肪酸组成Tab. 5 Fatty acid compositions of SFE-CO<sub>2</sub> extraction oil from peanuts

序号	保留时间/min	化合物名称	英文名称	分子式	相似度	相对含量/%
1	26.790	十五烷酸	Pentadecanoic acid	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	91	0.01
2	28.305	棕榈酸	Hexadecanoic acid	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	99	11.27
3	29.694	十七烷酸	Heptadecanoic acid	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	95	0.01
4	31.114	硬脂酸	Octadecanoic acid	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	99	3.10
5	31.922	油酸	(Z)-9-Octadecenoic acid	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	99	45.68
6	32.912	亚油酸	9,12-Octadecadienoic acid	C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	99	32.42
7	33.437	花生酸	Eicosanoic acid	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>	99	1.50
8	34.097	11-二十烯酸	11-Eicosenoic acid	C <sub>20</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	99	0.98
9	35.675	二十二烷酸	Docosanoic acid	C <sub>22</sub> H <sub>44</sub> O <sub>2</sub>	99	2.93
10	36.356	顺-11-二十二烯酸	Cis-11-Docosenoic acid	C <sub>22</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>	95	0.23
11	37.903	二十四烷酸	Tetracosanoic acid	C <sub>24</sub> H <sub>48</sub> O <sub>2</sub>	99	1.20
12	40.424	二十六烷酸	Hexacosanoic acid	C <sub>26</sub> H <sub>52</sub> O <sub>2</sub>	90	0.10

2.93%、花生酸 1.50%、二十四烷酸 1.20%。不饱和脂肪酸 4 种,占挥发物总量的 79.32%,主要是油酸 45.68%、亚油酸 32.42%、11-二十烯酸 0.98%。

### 3 结论

显著性检验表明,对花生油萃取率起作用的影响因素大小顺序依次为:萃取温度 > 萃取时间 > 萃取压力。超临界 CO<sub>2</sub> 萃取花生油的较佳工艺条件为:萃取时间 110 min,萃取压力 24 MPa,萃取温度 43 ℃,花生仁粒度 20 目,CO<sub>2</sub> 流量为 20 L/h,在该条件下,花生油萃取率高达 96.16%,所得花生油澄清透亮,具有花生油特有的香气。GC-MS 分析表明,SFE-CO<sub>2</sub> 流体萃取的花生油含不饱和脂肪酸高达 78% 以上,主要成分是亚油酸和油酸,符合一级花生油的标准(GB 1534—2003)。

#### 参考文献:

- [1] Reddy D V R K. Thirumala-Devi. Peanuts, Virus and virus-like diseases of major crops in developing countries [J]. Kluwer Academic Pub, 2003, 29: 397-422.
- [2] 董文召,汤丰收,陈钦勇. 我国花生栽培技术现状与展望[J]. 农业科技通讯,2010,10:12-15.
- [3] 赵志强. 花生油的加工及利用前景[J]. 花生科技,

1991(2):39-41.

- [4] 赵志强,万书波,束春德. 花生加工[M]. 北京:中国轻工业出版社,2001:170-173.
- [5] 周萍,王海燕,胡燕. 花生的药用价值研究进展[J]. 时珍国医国药,2009,20(11):2854-2855.
- [6] 朱自强. 超临界流体技术原理和应用[M]. 北京:化学工业出版社,2000:14-15.
- [7] 高福成. 现代食品工程高新技术[M]. 北京:中国轻工业出版社,1997.
- [8] Martínez M L, Mattea M A. Pressing and supercritical carbon dioxide extraction of walnut oil [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 88:399-404.
- [9] 刘慎,邓煜,王钟武. 核桃油超临界 CO<sub>2</sub> 流体萃取研究[J]. 甘肃林业科技,2007,32(1):1-3.
- [10] Mezzomo N, Mileo B R. Supercritical fluid extraction of peach (Prunus persica) almond oil: Process yield and extract composition [J]. Bioresource Technology, 2010, 101:5622-5632.
- [11] 曾虹燕,冯波. 葵花子油不同提取工艺的比较[J]. 中国油料作物学报,2005,27(3):70-73.
- [12] 郭华,罗军武,周建平. 茶籽油的超临界 CO<sub>2</sub> 萃取[J]. 现代食品科技,2007,23(12):40-43.
- [13] 姚菲,吴苏喜,杨振和. 油茶籽仁油的超临界 CO<sub>2</sub> 萃取工艺优势及其品质分析[J]. 食品科技与经济,2010,35(3):43-45.

(下转第 37 页)

## Extraction of Total Flavonoids from Blood Pummelo Peel by Cellulase Hydrolysis

CHEN Wen-juan<sup>1</sup>, CHEN Jian-fu<sup>2</sup>

(1. Department of Biological and Environmental Engineering, Zhangzhou City University, Zhangzhou 363000, China;

(2. Department of Food and Biology Engineering, Zhangzhou Institute of Technology, Zhangzhou 363000, China)

**Abstract:** The total flavonoids from blood pummelo peel was prepared by cellulose enzyme hydrolysis, and the extraction yield was measured by coloration method with aluminum nitrate. The effects of parameters including enzyme concentration, pH, hydrolysis temperature and hydrolysis time on extraction yield were investigated by single factor test and orthogonal array design methods. And the notability difference was analyzed with the statistic method of range and variance. The results showed that the optimal conditions were as follows: the enzyme concentration was 5.5%, pH was 5.2, hydrolysis temperature was 52 °C, and the hydrolysis time was 50 min. The extraction yield of the total flavonoids from blood pummelo peel reached up to 1.52%.

**Key words:** blood pummelo peel; total flavanoids; cellulase

(责任编辑:檀彩莲)

(上接第31页)

## Optimization of Peanut Oil Extraction with Supercritical Carbon Dioxide by Response Surface Methodology

LI Lin-jing<sup>1</sup>, ZHANG Bao<sup>1</sup>, LI Gao-yang<sup>1,2,3</sup>

(1. Longping Branch Graduate School, Central South University, Changsha 410125, China;

2. Hunan Food Testing Analysis Center, Changsha 410125, China;

3. Hunan Agricultural Product Processing Institute, Changsha 410125, China)

**Abstract:** A method utilizing supercritical CO<sub>2</sub> fluid extraction (SFE-CO<sub>2</sub>) technology to extract peanut oil was described. The optimum technological conditions were obtained by single-factor and response surface experiments, and the effect of parameters such as peanut granularity, extraction pressure, time, temperature and supercritical CO<sub>2</sub> flow on extraction rate were investigated. The highest extraction rate of 96.16% was achieved under the optimum extraction conditions of 20 mesh peanut, 20 L/h CO<sub>2</sub> flow, the pressure of 24 MPa, and 43 °C for 110 min. The unsaturated fatty acids content of peanut oil with the SFE-CO<sub>2</sub> fluid extraction (mainly linoleic acid and oleic acid) reached as high as 78%, in line with the level of first-class peanut oil standard.

**Key words:** supercritical CO<sub>2</sub>; peanut oil; response surface; fatty acids

(责任编辑:叶红波)